

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-207482

(P 2 0 0 2 - 2 0 7 4 8 2 A)

(43) 公開日: 平成14年7月26日 (2002. 7. 26)

(51) Int. Cl. 7	識別記号	F I	テマコード	(参考)
G10H 1/00	102	G10H 1/00	102	Z 5D082
G10G 3/04		G10G 3/04		5D378
G10H 1/40		G10H 1/40		

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全21頁)

(21) 出願番号 特願2000-384870 (P 2000-384870)  
(22) 出願日 平成12年12月19日 (2000. 12. 19)  
(31) 優先権主張番号 特願2000-338646 (P 2000-338646)  
(32) 優先日 平成12年11月7日 (2000. 11. 7)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

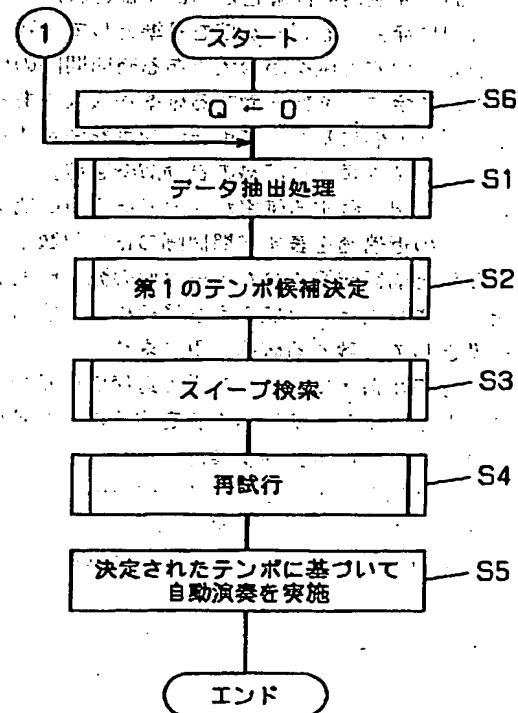
(71) 出願人 000005821  
松下電器産業株式会社  
大阪府門真市大字門真1006番地  
(72) 発明者 田本 茂明  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内  
(74) 代理人 100097445  
弁理士 岩橋 文雄 (外2名)  
Fターム (参考) 5D082 BB01 BB14 BB19  
5D378 MM14 MM16 MM65

(54) 【発明の名称】 自動演奏装置、及び自動演奏方法

(57) 【要約】

【課題】 外部から入力される音響信号から信憑性の高い正確なテンポを検出することができる自動演奏装置、及びその自動演奏方法を提供することである。

【解決手段】 帯域制限された音響信号が、包落線検出器で包落線に変換される。包落線のピーク値、そのピーク値の発生時間間隔に基づいて基本テンポパラメータ、付加テンポパラメータが決定される。基本テンポパラメータ、付加テンポパラメータがRAM内のピーク値の発生時間間隔と一致するかどうか検索され、一致する確率が最大のテンポパラメータに基づきテンポが決定される。更に、決定されたテンポの倍のテンポ、及び決定されたテンポの近傍値の信憑性が評価されてテンポが最終的に検出されるので、精度が高く、信憑性の高いテンポの検出が可能となる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 外部から入力される音響信号に同期させて自動演奏する自動演奏装置であって、  
入力される音響信号の特定周波数帯のレベルを抽出し、  
前記抽出されたレベルに含まれるピーク値のうち、当該検出されたピーク値に基づく所定のしきい値を越えるピーク値と、そのピーク値間の発生時間間隔とを順次記憶し、  
前記記憶されたピーク値間の発生時間間隔から 1 または複数の時間間隔を選択し、  
前記選択された時間間隔それぞれの正の整数倍に基づく時間間隔と前記記憶されたピーク値間の発生時間間隔とが、前記記憶されたピーク値のうち最初に発生するピーク値を基準として一致する確率を、前記選択された時間間隔ごとに算出し、  
前記一致する確率が最大である時間間隔に基づいて、前記入力される音響信号に同期して自動演奏するためのテンポを決定する、  
ことを特徴とする自動演奏装置。

【請求項 2】 前記入力される音響信号は、外部から入力される音響信号が包絡線に変換された信号であることを特徴とする請求項 1 に記載の自動演奏装置。

【請求項 3】 前記選択される 1 または複数の時間間隔には、前記算出されたピーク値間の発生時間間隔から選択される時間間隔と、該時間間隔の組み合わせから成る和である時間間隔とが含まれることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の自動演奏装置。

【請求項 4】 前記一致する確率が最大である時間間隔の  $1/2$  の値の正の整数倍に基づく時間間隔と前記記憶されたピーク値の発生時間間隔とが前記記憶されたピーク値のうち最初に発生するピーク値を基準として一致する確率が、前記一致する確率が最大である時間間隔の確率よりも大きい場合に、前記一致する確率が最大である時間間隔の  $1/2$  の値に基づいて前記テンポを決定することを特徴とする請求項 3 に記載の自動演奏装置。

【請求項 5】 前記一致する確率が最大である時間間隔に基づくテンポの近傍値を表す時間間隔の正の整数倍に基づく時間間隔と前記記憶されたピーク値の発生時間間隔とが前記記憶されたピーク値のうち最初に発生するピーク値を基準として一致する確率を更に求め、  
前記一致する確率が最大であるテンポの近傍値に基づく時間間隔にしたがって前記テンポを決定することを特徴とする請求項 3 に記載の自動演奏装置。

【請求項 6】 外部から入力される音響信号のテンポに相当するタイミングでクロック信号を外部音声出力システムに出力して自動演奏を実行させる自動演奏装置であって、  
外部から入力される音響信号のテンポに基づいて、自動演奏における小節の開始を示すタイミング信号を出力し、

前記入力される音響信号から検出されるピーク値と、その発生時間とを記憶し、  
前記記憶されたピーク値の発生時間と前記タイミング信号が出力される時間とのずれを算出し、  
前記算出されたずれに応じてクロック信号を出力する時間間隔を補正して自動演奏のタイミングを調整する、ことを特徴とする自動演奏装置。

【請求項 7】 更に、前記ピーク値の発生時間間隔の発生回数を順次記憶し、

10 前記記憶された発生回数が最大である発生時間間隔よりも前記算出されたずれの絶対値が大きい場合には、当該発生回数が最大である発生時間間隔による前記算出されたずれの剰余に前記算出されたずれを更新し、  
前記更新されたずれに応じて自動演奏のタイミングを調整することを特徴とする請求項 6 に記載の自動演奏装置。

【請求項 8】 前記算出されたずれ又は前記更新されたずれを時系列に順次メモリに記憶し、

20 前記記憶されたずれの中で最新のずれの符号が、前記記憶された他のずれの符号に対して反転する場合に、当該最新のずれを前記記憶されたその他のずれの平均値に変更し、

前記変更されたずれに応じてクロック信号を出力する時間間隔を補正して自動演奏のタイミングを調整することを特徴とする請求項 7 に記載の自動演奏装置。

【請求項 9】 前記ずれが、前記記憶された発生回数が最大であるピーク値の発生時間間隔よりも大きい場合に、前記ずれよりも小さい値に応じて自動演奏のタイミングを調整することを特徴とする請求項 6 から 8 のいずれか 1 つに記載の自動演奏装置。

【請求項 10】 外部から入力される音響信号に同期させて自動演奏するためのテンポ検出方法であって、  
入力される音響信号の特定周波数帯のレベルを抽出し、  
前記抽出されたレベルに含まれるピーク値のうち、当該検出されたピーク値に基づくしきい値を越えるピーク値と、そのピーク値間の発生時間間隔とを順次メモリに記憶し、

前記記憶されたピーク値間の発生時間間隔から 1 または複数の時間間隔を選択し、

40 前記選択された時間間隔それぞれの正の整数倍に基づく時間間隔と前記記憶されたピーク値間の発生時間間隔とが、前記記憶されたピーク値のうち最初に発生するピーク値を基準として一致する確率を、前記選択された時間間隔ごとに算出し、  
前記一致する確率が最大である時間間隔に基づいて、前記入力される音響信号に同期して自動演奏するためのテンポを決定する、ことを特徴とする自動演奏方法。

【請求項 11】 前記入力される音響信号は、外部から入力される音響信号が包絡線に変換された信号であることを特徴とする請求項 10 に記載の自動演奏方法。

50 ことを特徴とする請求項 10 に記載の自動演奏方法。

【請求項 12】 前記選択される 1 または複数の時間間隔には、前記算出されたピーク値間の発生時間間隔から選択される時間間隔と、該時間間隔の組み合わせから成る和である時間間隔とが含まれることを特徴とする請求項 10 または 11 に記載の自動演奏方法。

【請求項 13】 前記一致する確率が最大である時間間隔の  $1/2$  の値の正の整数倍に基づく時間間隔と前記記憶されたピーク値の発生時間間隔とが前記記憶されたピーク値のうち最初に発生するピーク値を基準として一致する確率が、前記一致する確率が最大である時間間隔の確率よりも大きい場合に、前記一致する確率が最大である時間間隔の  $1/2$  の値に基づいて前記テンポを決定することを特徴とする請求項 12 に記載の自動演奏方法。

【請求項 14】 前記一致する確率が最大である時間間隔に基づくテンポの近傍値を表す時間間隔の正の整数倍に基づく時間間隔と前記記憶されたピーク値の発生時間間隔とが、前記記憶されたピーク値のうち最初に発生するピーク値の発生時間を基準として一致する確率を更に求め、

前記一致する確率が最大であるテンポの近傍値に基づく時間間隔にしたがって前記テンポを決定することを特徴とする請求項 12 に記載の自動演奏方法。

【請求項 15】 外部から入力される音響信号のテンポに相当するタイミングでクロック信号を外部音声出力システムに出力して自動演奏を実行させる自動演奏方法であって、

外部から入力される音響信号のテンポに基づいて、自動演奏における小節の開始を示すタイミング信号を出力し、

前記入力される音響信号から検出されるピーク値と、その発生時間とを記憶し、

前記記憶されたピーク値の発生時間と前記タイミング信号が出力される時間とのずれを算出し、

前記算出されたずれに応じてクロック信号を出力する時間間隔を補正して自動演奏のタイミングを調整する、ことを特徴とする自動演奏方法。

【請求項 16】 更に、前記ピーク値の発生時間間隔の発生回数を順次メモリに記憶し、

前記記憶された発生回数が最大である発生時間間隔よりも前記算出されたずれの絶対値が大きい場合には、当該発生回数が最大である発生時間間隔による前記算出されたずれの剰余に前記算出されたずれを更新し、

前記更新されたずれに応じて自動演奏のタイミングを調整することを特徴とする請求項 15 に記載の自動演奏方法。

【請求項 17】 前記算出されたずれ又は前記更新されたずれを時系列に順次メモリに記憶し、

前記記憶されたずれの中で最新のずれの符号が、前記記憶された他のずれの符号に対して反転する場合に、該最新のずれを前記記憶されたその他のずれの平均値に変更

し、

前記変更されたずれに応じてクロック信号を出力する時間間隔を補正して自動演奏のタイミングを調整することを特徴とする請求項 16 に記載の自動演奏装置。

【請求項 18】 前記ずれが、前記記憶された発生回数が最大であるピーク値の発生時間間隔よりも大きい場合に、前記ずれよりも小さい値に応じて自動演奏のタイミングを調整することを特徴とする請求項 15 から 17 のいずれか 1 つに記載の自動演奏方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、外部から入力される音響信号に同期して自動演奏を実行する自動演奏装置、及びその自動演奏方法に関し、詳細には、テンポデータを有しない音響信号からテンポを検出することにより音響信号に同期して自動演奏を実行する自動演奏装置、及びその自動演奏方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、電子楽器の普及に伴い、電子楽器の演奏形態も多様化されており、例えば、人が演奏する生の音楽等に同期させて電子楽器を自動演奏することが行われている。

【0003】このような場合、演奏される楽音のテンポを正確に検出し、検出されたテンポに応じて電子楽器を自動演奏させることができる。正確にテンポを検出できなければ、演奏とのリズムの調和がとれず、電子楽器による自動演奏が音楽的に不自然になってしまうからである。

【0004】テンポを検出する従来の手法として、特開平 7-64544 号公報に開示されたテンポデータ生成方法がある。音響信号が入力されると、音響信号のピーク値、及びその発生時間がメモリに記憶され、記憶されたピーク値の平均値を越えるピーク値が抽出される。抽出されたピーク値から 2 個のピーク値が選択され、その発生時間間隔ごとにその他のピーク値が存在するか否かが検索される。その他のピーク値が存在する場合、選択された発生時間間隔に基づいてテンポデータが生成されるようになっている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】一般的に、人が音楽を演奏する場合、演奏に自然な変化を与えて音楽の演出効果を高める手法がとられることがある。例えば、シンバルなどの打楽器をタイミングを微妙にずらしたり、演奏を一定時間だけ故意に遅延させたりして、故意に真のテンポからリズムをずらすことによって音楽の表現を豊かにすることが可能である。

【0006】また、シンバルなどの打楽器だけではなく、ベースギターなどの弦楽器でもリズムが同時に刻まれる場合もあり、演奏中の楽音には、リズムを刻むための複数の楽器の音響が複雑に混在するような場合があ

る。

【0007】しかしながら、従来の手法により、このようなリズムを刻むための複数の楽器の音響が複雑に混在する音響信号からテンポデータが検出される場合、異なる楽器間のピーク値間の発生時間間隔に基づき検索が実施されて、真のテンポと大幅に異なり、信頼性の低いテンポを検出してしまう可能性がある。

【0008】また、完全に同期した自動演奏を実現するには、正確なテンポを検出するだけではなく、演奏中の楽音と自動演奏との演奏タイミングのずれを修正する必要がある。

【0009】本発明の目的は、外部から入力される音響信号から信頼性の高い正確なテンポを検出し、そのテンポに応じて確実に外部から入力される音響信号の演奏タイミングに同期することのできる自動演奏装置、及びその自動演奏方法を提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の第1の態様によれば、外部から入力される音響信号に同期させて自動演奏する自動演奏装置であって、入力される音響信号の特定周波数帯のレベルを抽出し、前記抽出されたレベルに含まれるピーク値のうち、当該検出されたピーク値に基づくしきい値を越えるピーク値と、そのピーク値間の発生時間間隔とを順次記憶し、前記記憶されたピーク値間の発生時間間隔から1または複数の時間間隔を選択し、前記選択された時間間隔それぞれの正の整数倍に基づく時間間隔と前記記憶されたピーク値間の発生時間間隔とが、前記記憶されたピーク値のうち最初に発生するピーク値を基準として一致する確率を、前記選択された時間間隔ごとに算出し、前記一致する確率が最大である時間間隔に基づいて、前記入力される音響信号に同期して自動演奏するためのテンポを決定するようになっている。

【0011】また、前記入力される音響信号は、外部から入力される音響信号が包絡線に変換された信号であるようにしてもよい。

【0012】また、前記選択される1または複数の時間間隔には、前記算出されたピーク値間の発生時間間隔から選択される時間間隔と、該時間間隔の組み合わせから成る和である時間間隔とが含まれるようにしてもよい。

【0013】また、前記一致する確率が最大である時間間隔の1/2の値の正の整数倍に基づく時間間隔と前記記憶されたピーク値の発生時間間隔とが前記記憶されたピーク値のうち最初に発生するピーク値を基準として一致する確率が、前記一致する確率が最大である時間間隔の確率よりも大きい場合に、前記一致する確率が最大である時間間隔の1/2の値の時間間隔に基づいて前記テンポを決定してもよい。

【0014】さらに、前記一致する確率が最大である時間間隔に基づくテンポの近傍値を表す発生時間間隔の正

の整数倍に基づく時間間隔と前記記憶されたピーク値の発生時間間隔とが、前記記憶されたピーク値のうち最初に発生するピーク値を基準として一致する確率を更に求め、前記一致する確率が最大であるテンポの近傍値に基づく時間間隔にしたがって前記テンポを決定するようにしてもよい。

【0015】また、外部から入力される音響信号のテンポに相当するタイミングでクロック信号を外部音声出力システムに出力して自動演奏を実行させる自動演奏装置であって、外部から入力される音響信号のテンポに基づいて、自動演奏における小節の開始を示すタイミング信号を出力し、前記入力される音響信号から検出されるピーク値と、その発生時間とを記憶し、前記記憶されたピーク値の発生時間と前記タイミング信号が出力される時間とのずれを算出し、前記算出されたずれに応じてクロック信号を出力する時間間隔を補正して自動演奏のタイミングを調整するようにしてもよい。

【0016】また、本発明の第2の態様によれば、外部から入力される音響信号に同期させて自動演奏するためのテンポ検出方法であって、入力される音響信号の特定周波数帯のレベルを抽出し、前記抽出されたレベルに含まれるピーク値のうち、当該検出されたピーク値に基づくしきい値を越えるピーク値と、そのピーク値間の発生時間間隔とを順次メモリに記憶し、前記記憶されたピーク値間の発生時間間隔から1または複数の時間間隔を選択し、前記選択された時間間隔それぞれの正の整数倍に基づく時間間隔と前記記憶されたピーク値間の発生時間間隔とが、前記記憶されたピーク値のうち最初に発生するピーク値を基準として一致する確率を、前記選択された時間間隔ごとに算出し、前記一致する確率が最大である時間間隔に基づいて、前記入力される音響信号に同期して自動演奏するためのテンポを決定するテンポ検出方法により上記課題を解決している。

【0017】前記入力される音響信号は、外部から入力される音響信号が包絡線に変換された信号であってもよい。

【0018】前記選択される1または複数の時間間隔には、前記算出されたピーク値間の発生時間間隔から選択される時間間隔と、該時間間隔の組み合わせから成る和である時間間隔とが含まれるようにしてもよい。

【0019】また、前記一致する確率が最大である時間間隔の1/2の値の正の整数倍に基づく時間間隔と前記記憶されたピーク値の発生時間間隔とが前記記憶されたピーク値のうち最初に発生するピーク値を基準として一致する確率が、前記一致する確率が最大である時間間隔の確率よりも大きい場合に、前記一致する確率が最大である時間間隔の1/2の値の時間間隔に基づいて前記テンポを決定してもよい。

【0020】さらに、前記一致する確率が最大である時間間隔に基づくテンポの近傍値を表す時間間隔の正の整

数倍に基づく時間間隔と前記記憶されたピーク値の発生時間間隔とが、前記記憶されたピーク値のうち最初に発生するピーク値を基準として一致する確率を更に求め、前記一致する確率が最大であるテンポの近傍値に基づく時間間隔にしたがって前記テンポを決定するようにしてもよい。

【0021】また、外部から入力される音響信号のテンポに相当するタイミングでクロック信号を外部音声出力システムに出力して自動演奏を実行させる自動演奏方法であって、外部から入力される音響信号のテンポに基づいて、自動演奏における小節の開始を示すタイミング信号を出力し、前記入力される音響信号から検出されるピーク値と、その発生時間とを記憶し、前記記憶されたピーク値の発生時間と前記タイミング信号が出力される時間とのずれを算出し、前記算出されたずれに応じてクロック信号を出力する時間間隔を補正して自動演奏のタイミングを調整するようにしてもよい。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の自動演奏装置の実施形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

【0023】（実施の形態1）図1は、本発明の実施の形態1に係る自動演奏装置が適用された電子楽器の概略構成を示すブロック図である。図1において、電子楽器1は、例えば、中央処理演算装置（以下、CPU）10、主記憶装置であるROM11、RAM12、音響入力装置13、周波数フィルタ14、包落線検出器15、ピークホールド回路16、時間計測器17、音源回路18、操作子インターフェース20とを備えている。CPU10、ROM11、RAM12、音響入力装置13、周波数フィルタ14、包落線検出器15、ピークホールド回路16、時間計測器17、音源回路18、操作子インターフェース20は、バス30で相互に接続されている。

【0024】CPU10は、ROM11に格納されているプログラムにしたがって、RAM12をワークエリアとして使用しつつ、電子楽器1の各部を制御する。また、CPU10には、設定されたテンポに対応した周期のクロックパルスがタイマ（図示せず）から供給される。このクロックパルスにより後述する各種割り込みルーチンが実行される。

【0025】音響入力装置13は、CPU10からの制御に従って、外部から電子楽器1に入力される楽音に基づいて音響信号を発生させ、周波数フィルタ14に音響信号を出力する。本実施の形態における音響入力装置13は、CD-ROM、DVD等の記録媒体22から音声データを読み出して音響信号を発生させる。音響入力装置13は、マイクロホンを通じて人間が実際に生で演奏する楽音を取り込んで音響信号を発生するようにしてもよい。周波数フィルタ14は、音響入力装置13から入力される音響信号のうち特定周波数帯の信号（レベル）

のみを通過させて、包落線検出器15に出力する。

【0026】包落線検出器15は、周波数フィルタ14から入力される音響信号を包落線に変換して、ピークホールド回路16に出力する。ピークホールド回路16は、包落線検出器15から入力された包落線のピーク値、及びその発生時間を検出して、時間計測器17に出力する。

【0027】時間計測器17は、ピークホールド回路16から入力されたピーク値からしきい値を算出し、そのしきい値を越えるピーク値の発生時間間隔を測定する。測定された発生時間間隔はRAM12に出力される。RAM12に記憶されるデータについてはさらに詳しく後述する。

【0028】音源回路18は、音源データを波形データROM（図示せず）を参照して、出力すべき音声波形に応じたデジタル信号を読み出し、アナログ信号に変換してサウンドシステム19に出力する。このサウンドシステム19は、アンプ及びスピーカ（図示せず）により構成されている。音源回路18から出力されるアナログ信号がアンプで増幅されて、スピーカで旋律用の楽音が発生する。

【0029】操作子インターフェース20は、本電子楽器1に各種動作を指示する操作子21を構成する各スイッチの操作に対応するスイッチ信号を発生し、バス30を介してCPU10に供給する。操作子21は、例えば、自動演奏を開始、停止させるスイッチ等で構成される。

【0030】次に、本実施の形態にかかる電子楽器1の動作について、図2以下を参照して説明する。なお、本電子楽器1で行われる制御動作の中には、CPUの制御下でCPU以外の回路が実際の制御を行っている場合も存在するのであるが、説明の便宜上、以下では、CPUが関係する制御は、CPUが直接的に制御しているとしてその説明を行う。

【0031】図2は、電子楽器1によるテンポ検出処理についてのフローチャートである。操作子21の自動演奏を開始させるスイッチからのスイッチ信号がCPU10に入力されると、図2に示される処理手順にしたがって、外部から入力される音響信号に対してテンポを検出する処理が開始される。

【0032】まず、テンポの検出の回数を表す変数Q（整数）が0に設定される（ステップS6）。外部から入力される楽音に基づいて音響入力装置13が発生する音響信号から、テンポを検出するためのデータを抽出するデータ抽出処理（ステップS1）が実行された後、後述する第1のテンポ候補決定処理（ステップS2）、スイープ検索処理（ステップS3）、再試行処理（ステップS4）が実行されて最終的にテンポが決定される。その後、決定されたテンポに基づいて自動演奏が実行される（ステップS5）。本実施の形態におけるテンポ検出

処理では、ステップS2でテンポとしての候補が一旦決定された後、決定されたテンポの信憑性を詳細に評価することによってテンポ検出の精度を高めることができるようになる。

【0033】図3は、データ抽出処理S1の流れを示すフローチャートである。まず、音響信号入力装置13から出力された音響信号について、周波数フィルタ14でフィルタ処理が実行されて（ステップS11）、特定周波数帯の信号（レベル）が抽出される。本実施の形態においてはフィルタとして、カットオフ周波数12kHzのハイパスフィルタが用いられる。同じ周波数帯域に属してリズムを刻む楽器の音の重複を回避して、テンポ検出の精度を高めるためである。なお、フィルタの特性は、テンポを検出する対象である楽音に応じて決められるので、適宜変更することは可能である。

【0034】図4は、一般的に楽音のリズムを刻むために用いられる代表的な楽器の音の高さとレベルとの関係を示す図である。図4には、一例として、バスドラム、スネアドラム、シンバル、ベースギターの特性がそれぞれ示されている。また、COは、周波数フィルタ14のカットオフ値（12kHz）を示す。バスドラム、ベースギターは低域に、スネアドラム、シンバルは高域に属している。仮に、低域に属するバスドラム、ベースギターでテンポの検出をする場合、互いに同じ周波数帯域に属しており、両者の音響信号が混在しており正確なテンポの検出が困難となる。反面、高域に属するスネアドラム、シンバルは音のエンベロープ変化が激しく、互いに妨害することも少ないので、高域に属するこれらの楽器の音響信号から正確なテンポの検出を実行できる。

【0035】次に、周波数フィルタ14でフィルタ処理された音響信号は、包落線検出器15によって包落線に変換される（ステップS12）。包落線に変換することにより、音響信号入力装置13から出力される音響信号からノイズ等細かい変動が取り除かれる。

【0036】図5は、音響入力装置13から出力された音響信号、及びその包落線の一例を示す図である。図5において、Rは音響信号入力装置13から出力された音響信号、Hはその音響信号Rの包落線を示す。音響信号Rにはノイズ等細かい変動が数多く含まれている。そのため、後述するピーク値の発生時間間隔を検出する際に多数のピーク値を検出してしまい、真のテンポを表す可能性が明らかにないピーク値に関してテンポの検出に時間を無駄に費やしてしまうことになる。また誤ったテンポを検出して正確なテンポの検出が困難になる場合がある。細かい変動を含まない包落線Hでテンポの検出を実行することにより、テンポ検出時間の短縮、テンポの検出精度を向上させることができる。

【0037】さらに、ピークホールド回路において包落線に変換された信号のピーク値が検出され、時間計測器において検出されたピーク値に応じてしきい値が算出さ

れる（ステップS13）。本実施の形態では、最大のピーク値の70%の値がしきい値として設定されることになっているが、しきい値の設定は適宜変更可能である。

【0038】図6は、図5の包落線H、そのピーク値及びピーク値の発生時間、並びにしきい値の関係を示す図である。P0は包落線Hのピーク値、t0はピーク値P0の発生時間を示す。以下同様の関係で、ピーク値P1と発生時間t1、ピーク値P2と発生時間t2、ピーク値P3と発生時間t3の組み合わせとなっている。また、THは包落線Hのピーク値のしきい値を示す。図6においては、ピーク値P0、P1、P2、P3全てがしきい値THを越えているので、テンポ検出処理の対象となる。

【0039】続いて、ピーク値が検出された後、時間計測器17においては、包落線を越えたピーク値の発生時間、及びそれらピーク値間の発生時間間隔が算出されて、その算出されたデータが所定の数だけRAM12に格納される（ステップS14）。この際、算出された発生時間間隔の個数、これら発生時間間隔の総和も計算されてRAM12に格納される。本実施の形態において、RAM12に格納される発生時間間隔の数は、一例として10個となっているが、格納される数は適宜変更可能である。

【0040】この発生時間間隔の算出の際、極端に発生時間間隔が大きい、または小さいデータはノイズ等の不良データとして除外すれば、テンポ検出の時間短縮、精度のあるテンポの検出が可能となる。ここで、通常、テンポは1分間（60秒）に含まれる四分音符の数で表される。一般的に、テンポが速い楽曲のテンポは約190なので、本実施の形態においては一例として、0.1秒よりも小さい発生時間間隔を除外するようになっている。

【0041】次に、格納された発生時間間隔が小さい順にソートされる（ステップS15）。図7は、RAM12に発生時間間隔が格納された状態を示す図である。図7(a)は、時間計測器17で算出された発生時間間隔が格納された状態を示す。図7(b)は、図7(a)の発生時間間隔が小さい順でソートされた状態を示す。D0、D1、D2はそれぞれ、RAM12のデータ格納領域を示す。図6のピーク値P0、P1間の発生時間間隔t1-t0、ピーク値P1、P2間の発生時間間隔t2-t1及びピーク値P2、P3間の発生時間間隔t3-t2、その他ピーク値間の発生時間間隔が、データ格納領域D0、D1、D2に格納されている。ステップS14の処理によって、図7(b)のように小さい順にピーク値の発生時間間隔が並べ替えられる。

【0042】続いて、ソートされた発生時間間隔の中から、テンポを表す指標であって、四分音符に相当する時間間隔（以下、基本テンポパラメータ）を決定する処理に移行する。

【0043】ここでは、RAM 12 に格納された発生時間間隔の総和の  $1/2$  より小さい範囲に属する発生時間間隔が基本テンポパラメータとして採用されるようになっている。発生時間間隔の総和の  $1/2$  より大きい発生時間間隔は、RAM 12 に格納された発生時間間隔に基づく信号の中で一度しか発生しないので、テンポを求める指標としては信憑性が低いので予め除外するためである。これによりテンポを検出するための無駄な検出時間を省き、テンポ検出の時間短縮が可能となる。

【0044】ここでは、ステップ S 15 でソートされた順番（小さい値を有する順）で、発生時間間隔ごとに基本テンポパラメータとして採用されるか否かが順次判断されるようになっている。テンポが速いリズムの楽曲の場合、リズムを刻む楽器が小刻みに演奏されてピーク値の発生時間間隔が小さくなる傾向がある。小さな時間間隔で発生するピーク値を検索対象から漏らすことがなく、信憑性の高いテンポの検出を実行することができるようになる。

【0045】まず、基本テンポパラメータの個数を表す変数  $i$  が「0」に設定され（ステップ S 16）、RAM 12 に格納された発生時間間隔の中で最小値が選択される。選択された発生時間間隔が、RAM 12 に格納された発生時間間隔の総和の  $1/2$  よりも大きいか否かが判断される（ステップ S 17）。

【0046】その発生時間間隔が RAM 12 に格納された発生時間間隔総和の  $1/2$  よりも大きくなければ（ステップ S 17；NO）、発生時間間隔の中で最小値が基本テンポパラメータ  $KT$  として採用され、変数  $i$  が「1」インクリメントされる（ステップ S 18）。次に、変数  $i$  が、RAM 12 に格納された発生時間間隔の個数に達して基本テンポパラメータの選択が終了したか否かが判断される（ステップ S 19）。基本テンポパラメータの選択が終了していないと判断された場合（ステップ S 19；No）、RAM 12 内に格納された発生時間間隔の中で次に大きな値を有する発生時間間隔が検索対象とされた後（ステップ S 20）、ステップ S 17 に戻り、基本テンポパラメータを決定するための処理を繰り返す。

【0047】検索の対象となった発生時間間隔が RAM 12 に格納された発生時間間隔総和の  $1/2$  よりも大きくなければ（ステップ S 17；Yes）、または変数  $i$  が、RAM 12 に格納された発生時間間隔の個数に達して基本テンポパラメータの選択が終了したと判断された場合（ステップ S 19；Yes）、基本テンポパラメータを決定する処理が終了する。

【0048】基本テンポパラメータが決定された後、テンポを表す指標であって、決定された基本テンポパラメータの組み合わせからなる和である時間間隔（以下、付加テンポパラメータ）が算出される（ステップ S 2

1）。付加テンポパラメータは、決定された基本テンポ

パラメータの全ての組み合わせのパターンにしたがって算出される。基本テンポパラメータとして決定された時間間隔の組み合わせの和が、真のテンポを表す、ピーク値の発生時間間隔となる可能性も十分あるので、付加テンポパラメータについてもテンポの検出に利用される。

【0049】付加テンポパラメータの説明を図 6 を用いて具体的に説明する。図 6 では、基本テンポパラメータとして、ピーク値  $P1$ 、 $P2$  の発生時間間隔  $t2 - t1$ （以下、基本テンポパラメータ  $KT0$ ）、ピーク値  $P2$ 、 $P3$  の発生時間間隔  $t3 - t2$ （以下、基本テンポパラメータ  $KT1$ ）、ピーク値  $P0$ 、 $P1$  の発生時間間隔  $t1 - t0$ （以下、基本テンポパラメータ  $KT2$ ）が決定されている。ここで、基本テンポパラメータ  $KT0$  の値が最小であり、以下、基本テンポパラメータ  $KT1$ 、基本テンポパラメータ  $KT2$  の順で値が大きくなる。付加テンポパラメータは、3 つの基本テンポパラメータの組み合わせパターンにしたがって次の式（1）で表される。

$$FT0 = KT0 + KT1$$

$$FT1 = KT0 + KT2$$

$$FT2 = KT0 + KT1 + KT2$$

$$FT3 = KT1 + KT2$$

式（1）で示されたように、基本テンポパラメータの組み合わせのパターン全てについて、その組み合わせを構成する基本テンポパラメータの和がそれぞれ算出されて、付加テンポパラメータが算出される。

【0050】付加テンポパラメータが決定された後（ステップ S 21）、テンポ検出処理（図 2 参照）の第 1 のテンポ候補処理（ステップ S 2）に移行する。次に第 1 のテンポ候補処理について説明する。

【0051】図 8 は、第 1 のテンポ候補決定処理 S 2 の流れを示すフローチャートである。本処理では、データ抽出処理 S 1 で決定された基本テンポパラメータと付加テンポパラメータそれぞれの正の整数倍に基づく時間間隔と RAM 12 で格納されたピーク値の発生時間間隔とが、RAM 12 に記憶されたピーク値のうち最初に発生したピーク値の発生時間を基準として一致する確率（以下、存在確率）が算出される。真のテンポを表す時間間隔でピーク値が発生する確率が最大になるため、存在確率が大きいテンポパラメータのほど真のテンポを表す信憑性が高いと判断される。

【0052】まず、データ抽出処理 S 1 で決定された基本テンポパラメータ、付加テンポパラメータそれぞれの正の整数倍に基づく時間間隔と、RAM 12 で格納されたピーク値の発生時間間隔とが一致する確率が算出される（ステップ S 31）。詳細には、基本テンポパラメータそれぞれの正の整数倍は次式（2）で求められる。

$$KTin = n \times (KTi)$$

$$di = 0.01 \times KTi$$

ここで、 $KTin$  は、基本テンポパラメータ  $KTi$  の正

の整数倍の値、 $n$ は自然数を示す。 $i$ は整数であって、 $0$ 以上（基本テンポパラメータの個数）以下となる。 $d_i$ は許容誤差である。ピーク値の発生時間間隔が基本テンポパラメータの正の整数倍 $K T i n$ に対して許容誤差範囲内にあれば、両者は一致すると判断される。

【0053】また同様に、付加テンポパラメータそれぞれの正の整数倍は次式（3）で求められる。

$$F T j n = n \times (F T j)$$

$$d j = 0.01 \times F T j$$

ここで、 $F T j n$ は、付加テンポパラメータ $F T j$ の正の整数倍の値、 $n$ は自然数を示す。 $j$ は整数であって、 $0$ 以上（付加テンポパラメータの個数）以下となる。 $d_j$ は許容誤差である。ピーク値の発生時間間隔が付加テンポパラメータの正の整数倍 $F T j n$ に対して許容誤差範囲内にあれば、両者は一致すると判断される。

【0054】これらの判断は、RAM12に格納されたピーク値の範囲内、つまり、最初に発生時間が小さいピーク値から、最も発生時間が大きいピーク値の間で実施される。各テンポパラメータの存在確率は、一致すると判断された数をこの範囲内に存在するテンポパラメータの数で除した値である。

【0055】本処理を図面を参照して具体的に説明する。図9は、基本テンポパラメータ、付加テンポパラメータそれぞれの存在確率の算出結果を示す。図9において、図6で示された包絡線から検出され、RAM12に記憶されたピーク値として、ピーク値 $P0$ ～ピーク値 $P8$ 、およびそれぞれの発生時間 $t0$ ～ $t8$ が示されている。なお、データ抽出処理S1においては、ステップS17で示された条件を満足するピーク値の発生時間間隔全てが基本テンポパラメータとして選択されるが、ここでは説明の便宜上、基本テンポパラメータは $K T 0$ 、 $K T 1$ 、 $K T 2$ の3種類のみが選択されているとして説明する。この場合、式（2）により、付加テンポパラメータとして $F T 0$ 、 $F T 1$ 、 $F T 2$ 、 $F T 3$ が算出される。

【0056】また、図9において、基本テンポパラメータ、付加テンポパラメータそれぞれの正の整数倍に基づく時間間隔とピーク値の発生時間間隔とが、ピーク値 $P0$ の発生時間を基準として一致する確率（存在確率）の算出結果が示されている。S1（○印）は両者が一致することを示す記号であり、S2（×印）は両者が一致しないことを示す記号である。

【0057】存在確率は、（記号S1の個数）／（記号S1の個数＋記号S2の個数）で求められる。例えば、基本テンポパラメータ $K T 0$ においては、記号S1の個数が8個、記号S1、S2の合計個数16個なので、基本テンポパラメータ $K T 0$ の存在確率は、 $0.5$ となる。図9の例では、付加テンポパラメータ $F T 1$ 、 $F T 2$ の存在確率 $1.0$ が最大となっており、真のテンポに基づくテンポパラメータとしての信憑性が最も高いとみ

なされる。同じ存在確率が発生した場合、小さい方のテンポパラメータが採用される。テンポパラメータの値が小さいほど楽音のテンポが大きくなり、ゆったりとしたテンポで自動演奏が実行されるので人は心地よさを感じるためである。

【0058】再び図8に戻って説明を進める。基本テンポパラメータ、付加テンポパラメータについての存在確率の計算が終了すると、最大の存在確率を有するテンポパラメータに対し、 $1/2$ の値を有するテンポパラメータ（以下、倍テンポパラメータ）について、ステップS31と同様に存在確率の計算が実施される（ステップ32）。

【0059】音響発生装置13に入力される楽曲において、リズムを刻む楽器（例えば、シンバル）が真のテンポに対して変則的なリズムで演奏される場合があり、この場合、通常の演奏のテンポの2倍で演奏されることがある。つまり、真のテンポが、最大の存在確率を有するテンポパラメータに基づくテンポの2倍である可能性がある。倍テンポパラメータの存在確率を検証することによって、テンポ検出の精度をさらに高めることができるようになる。

【0060】次に、ステップS31において最大の存在確率を有するテンポパラメータの存在確率（以下、存在確率E）が、倍テンポパラメータの存在確率（以下、存在確率M）の2倍より大きいかが判断される（ステップS33）。存在確率Eが存在確率Mの2倍より大きい場合（ステップS33；Yes）、ステップS31にて最大の存在確率を有するテンポパラメータに基づいて第1のテンポ候補（以下、 $T1$ ）が算出される（ステップS34）。ステップS31にて最大の存在確率を有するテンポパラメータが、真のテンポを表す可能性が大きい指標として判断され、その値を四分音符に相当する時間として第1のテンポ候補 $T1$ が次式（4）で算出される。

$$T1 = 60 / (\text{ステップS31にて最大の存在確率を有するテンポパラメータ})$$

【0061】存在確率Eが存在確率Mの2倍より大きくない場合（ステップS33；No）、倍テンポパラメータが、真のテンポを表す可能性が大きい指標として判断され、倍テンポパラメータに基づいて第1のテンポ候補 $T1$ が算出される（ステップS35）。この場合、倍テンポパラメータを四分音符に相当する時間として第1のテンポ候補 $T1$ は次式（5）で算出される。

$$T1 = 60 / (\text{倍テンポパラメータ})$$

【0062】図9の例では、付加テンポパラメータ $F T 1$ が最大の存在確率 $1.0$ を有しており、付加テンポパラメータ $F T 1$ の倍テンポパラメータの存在確率（図示せず）は $0.75$ となる。倍テンポパラメータに基づくテンポの可能性が高いと判断され、第1のテンポ候補として、倍テンポパラメータに基づいて第1のテンポ候補



T 1 が算出されることになる。

【0063】このように、テンポを表す指標であるテンポパラメータについて、音響信号から検出されるピーク値の発生時間間隔の存在確率を検証することによって、測定誤差が発生した場合等のイレギュラーな発生時間間隔のデータが無視されるので、信憑性の高いテンポを求めることが可能になる。

【0064】第1のテンポ候補の算出がされる（ステップS34、S35）と、次にスイープ検索処理に移行する（ステップS3、図2）。スイープ検索処理S3では、第1のテンポ候補処理で求められた第1のテンポ候補について、測定誤差などの影響を抑えるためにさらに精密な検証が実行される。スイープ検索処理S3では、第1のテンポ候補の近傍値それぞれについて、その値の信憑性が評価される。第1のテンポ候補の近傍値それぞれに基づくテンポパラメータについて、第1のテンポ候補処理と同様に、RAM12で格納されたピーク値の発生時間間隔における存在確率が算出される。求められた存在確率が最大であるテンポパラメータに基づくテンポが真のテンポとして最終的に採用される。

【0065】図10は、スイープ検索処理S3の流れを示すフローチャートである。まず、第1のテンポ候補処理で真のテンポを表す可能性が大きい指標と判断されたテンポパラメータに基づき、検索用パラメータが算出される（ステップS41）。詳細には、次式（6）で検索パラメータが求められる。

$$ST(m) = 60 \times TPmax / (60 + m \times TPmax)$$

ここで、mは整数（ $-5 \leq m \leq 5$ ）、ST(m)は、mの値に対する検索パラメータを示す。TPmaxは、第1のテンポ候補に基づくテンポパラメータである。つまり、本スイープ検索処理S3では、第1のテンポ候補T1の近傍値（T1-5からT1+5）に関して、その存在確率が算出されて真のテンポとしての信憑性がそれぞれ検証される。

【0066】次に、求められた検索パラメータそれぞれの正の整数倍に基づく時間間隔と、RAM12で格納されたピーク値の発生時間間隔とが一致する確率が算出される（ステップS42）。詳細には、検索パラメータそれぞれの正の整数倍は次式（7）で求められる。

$$ST(m) \cdot l = l \times ST(m) \\ dm = 0.002 \times ST(m)$$

ここで、ST(m)・lは、検索パラメータST(m)の正の整数倍の値、lは自然数を示す。dmは許容誤差である。ピーク値の発生時間間隔が検索パラメータST(m)の正の整数倍ST(m)・lに対して許容誤差範囲内であれば、両者は一致すると判断される。本処理での許容誤差は、ステップS31における許容誤差よりも厳しく設定されており、両者が一致するかが厳密に判断される。

【0067】これらの判断は、RAM12に格納されたピーク値の範囲内、つまり、最も発生時間が小さいピーク値から、最も発生時間が大きいピーク値の間で実施される。各検索パラメータの存在確率は、一致すると判断された数を、前述した範囲内に存在するテンポパラメータの数で除した値である。

【0068】本処理を図面を参照して具体的に説明する。図11は、図9で示されたピーク値の発生時間間隔に対する検索パラメータそれぞれの存在確率の算出結果を示す図である。図11の例では、検索パラメータST(1)の存在確率（0.75）が最大となっており、真のテンポに基づくテンポパラメータとしての信憑性が最も大きいとみなされる。

【0069】最大の存在確率を有する検索パラメータST(m)（以下、最大検索パラメータST(m)max）が決定されると、その値が四分音符に相当するとして第2のテンポ候補T2が算出される（ステップS43）。第2のテンポ候補T2は次式（8）で求められる。

$$T2 = 60 / (ST(m)max)$$

【0070】図11の例では、検索パラメータST(1)が最大の存在確率0.75を有しており、第2のテンポ候補として、検索パラメータST(1)に基づいて第2のテンポ候補T2が算出されることになる。

【0071】このように検索パラメータST(m)の存在確率を検証することによって、第1のテンポ候補の近傍値それぞれについて信憑性を検証することができる。よって測定誤差などの影響も抑えられ、第1のテンポ候補決定処理S2よりも、さらに信憑性の高いテンポを求めることが可能になる。

【0072】スイープ検索処理S3が終了すると、続いて再試行処理に移行する（ステップS4）。再試行処理S4では、スイープ検索処理S3で求められた第2のテンポ候補T2が真のテンポの候補（以下、テンポTr）として最終的に採用できるか否かの評価が実行される。

【0073】図12は、再試行処理S4の流れを示すフローチャートである。まず、第2のテンポ候補T2が、60以上190以下であるか否か判断される（ステップS51）。一般的に、音楽で採用されるテンポは60以上190以下の範囲であるからである。第2のテンポ候補T2が、60以上190以下であれば（ステップS51；Yes）、最大検索パラメータST(m)maxを四分音符としてみなしたことが正しいと判断され、第2のテンポ候補T2が真のテンポTrとなる（ステップS53）。

【0074】第2のテンポ候補T2が、60以上190以下でない場合（ステップS51；No）、かつ第2のテンポ候補T2が60未満であれば（ステップS52；Yes）、最大検索パラメータST(m)maxが2分音符とみなされて、第2のテンポ候補T2の2倍が真のテンポTrとなる（ステップS54）。第2のテンポ候

補 T 2 が 190 より大きければ (ステップ S 52 ; No)、最大検索パラメータ ST (m) が 8 分音符とみなされて、第 2 のテンポ候補 T 2 の 1/2 倍がテンポ Tr となる (ステップ S 55)。

【0075】次に、ステップ 53、54、55 いずれかで決定されたテンポ Tr が、真のテンポとして最終的に採用できるか否かについて、最大検索パラメータ ST (m) max の存在確率にしたがって判断される。

【0076】続いて、最大検索パラメータ ST (m) max の存在確率が 0.7 以上であるか否かが判断される (ステップ S 56)。最大検索パラメータ ST (m) max の存在確率が 0.7 以上であれば (ステップ S 56 ; Yes)、ステップ 53、54、55 いずれかで決定されたテンポ Tr が真のテンポとして採用され、テンポ検出で用いられた RAM 13 上の各種データがリセットされる (ステップ S 57)。そして、ステップ S 5 に移行して、採用された真のテンポに基づいて自動演奏が実行される。

【0077】最大検索パラメータ ST (m) max の存在確率が 0.7 より小さければ (ステップ S 56 ; No)、テンポ Tr が真のテンポとしては信憑性に欠けると判断され、再度テンポの検出が繰り返されることとなる。テンポの検出の回数を表す変数 Q が 0 であるか否かが判断される (ステップ S 58)。変数 Q が 0 であれば (ステップ S 58 ; Yes)、変数 Q が 1 だけインクリメントされて (ステップ S 59)、信憑性のあるテンポを検出するために、再びステップ S 1 に戻って、データ抽出処理 S 1、第 1 のテンポ候補決定処理 S 2、スイープ検索処理 S 3 が繰り返される。

【0078】再度、データ抽出処理 S 1、第 1 のテンポ候補決定処理 S 2、スイープ検索処理 S 3 が実行されて、ステップ S 56 で存在確率が 0.7 以上の最大検索パラメータ ST (m) max が得られたと判断された場合、現時点でのテンポの検出で決定されたテンポ Tr が真のテンポとして採用され、テンポ検出で用いられた RAM 13 上の各種データがリセットされてステップ S 5 に移行する。

【0079】再度、データ抽出処理 S 1、第 1 のテンポ候補決定処理 S 2、スイープ検索処理 S 3 が実行されて、ステップ S 56 で存在確率が 0.7 以上の最大検索パラメータ ST (m) max が得られなかったと判断された場合 (ステップ S 56 ; No)、ステップ S 58 に処理が移行される。

【0080】変数 Q が 0 でない場合、つまりテンポの検出が 2 回以上実施されていると判断された場合 (ステップ S 58 ; No)、以前のテンポの検出において決定されたテンポ Tr の中に、現時点のテンポの検出で決定されたテンポ Tr と許容誤差 1% の範囲内であるテンポ Tr が存在する否かが判断される (ステップ S 60)。

【0081】以前のテンポの検出において決定されたテ

ンポ Tr の中に、現時点のテンポの検出におけるテンポ Tr と許容誤差 ±1% の範囲内であるテンポ Tr が存在する場合 (ステップ S 58 ; Yes)、以前のテンポ検出におけるテンポ Tr に対応する最大検索パラメータ ST (m) max の存在確率、または現時点のテンポの検出における最大検索パラメータ ST (m) max の存在確率のいずれかが 0.4 以上であるか否かが判断される

(ステップ S 61)。両者のいずれかが 0.4 以上であれば (ステップ S 61 ; Yes)、以前のテンポの検出においても近いテンポが存在するので信憑性のあるテンポが検出されたとみなされる。そして、ステップ S 57 で現時点のテンポの検出で決定されたテンポ Tr が真のテンポとして採用され、テンポ検出で用いられた RAM 12 上の各種データがリセットされる。

【0082】以前のテンポの検出において決定されたテンポ Tr の中に、現時点のテンポの検出におけるテンポ Tr と許容誤差 ±1% の範囲内であるテンポ Tr が存在しない場合 (ステップ S 60 ; No)、または以前のテンポ検出におけるテンポ Tr に対応する最大検索パラメータ ST (m) max の存在確率、または現時点のテンポの検出における最大検索パラメータ ST (m) max の存在確率のいずれもが 0.4 未満であれば (ステップ S 61 ; No)、ステップ S 59 に移行して変数 Q が 1 だけインクリメントされて、信憑性のあるテンポを検出するために再びステップ S 1 に戻って、信憑性の高いテンポ Tr が検出されるまでテンポの検出が繰り返される。なお、変数 Q が所定の値に達した場合は、テンポの検出が終了されるようにしてもよい。

【0083】以上のように、外部から入力される音響信号からテンポを検出する際、音響信号から検出されるピーク値の発生時間間隔に関するテンポとしての信憑性が、その発生時間間隔の存在確率に基づいて厳密に検証されるので、イレギュラーなリズムが刻まれた場合のピーク値によって誤ったテンポが検出されることがなくなる。これにより、従来に比べて正確かつ信憑性の高いテンポを検出することができるようになる。

【0084】(実施の形態 2) 以下、本発明の自動演奏装置における実施形態 2 について図面を参照しながら詳細に説明する。本実施の形態においても、実施の形態 1 と同様に本発明に係る自動演奏装置が電子楽器に適用された場合について説明する。

【0085】本実施の形態における電子楽器においては、実施の形態 1 において記載したテンポ検出方法により音響信号から検出されたテンポに基づき、その音響信号内の小節が開始されるタイミングと電子楽器 1 による自動演奏の小節が開始されるタイミングとの時間の差 (以下、ずれ) が検出され、そのずれ分だけ自動演奏の演奏タイミングが補正されるようになっている。

【0086】本実施の形態における電子楽器は、実施の形態 1 の電子楽器 1 と同様に、例えば、CPU 10、主

記憶装置であるROM 11、RAM 12、音響入力装置 13、周波数フィルタ 14、包絡線検出器 15、ピークホールド回路 16、時間計測器 17、音源回路 18、操作子インターフェース 20とを備えている。CPU 10、ROM 11、RAM 12、音響入力装置 13、周波数フィルタ 14、包絡線検出器 15、ピークホールド回路 16、時間計測器 17、音源回路 18、操作子インターフェース 20は、バス 30で相互に接続されている。ハードウェアの構成は実施の形態 1と同様であるので、ここではハードウェア各部の詳細な説明は省略する。

【0087】また、外部から入力される音響信号は、実施の形態 1と同様に、CPU 10の制御に従って、外部から電子楽器 1に入力される楽音に基づいて音響信号が音響入力装置 13で出力される。CD-ROM、DVD等の記録媒体 22から音声データを読み出して音響信号を出力させてもよいし、マイクロホンを通じて人間が実際に生で演奏する楽音を取り込んで音響信号を出力するようにしてもよい。

【0088】以下、実施の形態 1の電子楽器 1と異なる点を主に説明する。

【0089】図 13は、後述するずれ検出処理で利用されるRAM 12上のデータを説明するための図である。

【0090】図 13は、RAM 12に記憶されたずれの履歴データを示す。RAM 12には、後述するずれ検出処理中に検出されるずれが連続して記憶される。本実施の形態においては、現時点のずれ検出から過去 6 回分のずれのデータが記憶されるようになっているが、記憶するデータの個数は適宜変更可能である。

【0091】ずれの履歴データには、例えば、ずれ検出処理中に検出された順番を表す順番領域 101と、ずれの値を所定の個数分だけ記憶するずれデータ領域 102とが含まれている。図 13の例では、順番領域 101に“1”、ずれデータ領域 102にずれ“Gz0”がそれぞれ格納されており、ずれ検出処理中に 1 番目に検出されたずれが“Gz0”であることが示されている。以下同様に、ずれ検出処理中に 2 番目に検出されたずれ“Gz1”、ずれ検出処理中に 3 番目に検出されたずれ“Gz2”、ずれ検出処理中に 4 番目に検出されたずれ“Gz3”、ずれ検出処理中に 5 番目に検出されたずれ“Gz4”、ずれ検出処理中に 6 番目に検出されたずれ“Gz5”、ずれ検出処理中に 7 番目に検出されたずれ“Gz6”が記憶されている。ずれ検出中のずれデータの検出については後述する。

【0092】また、図 14は、音響入力装置 13から出力される音響信号のピーク値の発生時間間隔の統計データの一例を示す。RAM 12には、音響信号から検出されたピーク値の発生時間間隔の発生回数が、その発生時間間隔の階級毎に記憶される。

【0093】統計データには、ピーク値の発生時間間隔の階級幅を示す階級幅領域 111と、ピーク値の発生時

間間隔の各階級幅ごとにおける発生回数を示す発生回数領域 112とが含まれている。図 14の例では、階級幅領域 111に階級幅“ $\Delta t \geq 1$ ”が、発生回数領域 112にピーク値の発生時間間隔の発生回数“1”がそれぞれ記憶されており、階級幅“ $\Delta t \geq 1$ ”に属する発生時間間隔が“1”回発生したことが示されている。以下同様に、階級幅“ $\Delta t \geq 2$ ”に属する発生時間間隔の発生回数“1”、階級幅“ $\Delta t \geq 3$ ”に属する発生時間間隔の発生回数“3”等のデータが記憶されている。

【0094】次に、本実施の形態のずれ検出処理について、フローチャートを用いて説明する。図 15、図 16は、本発明のずれ検出処理の処理の流れを表すフローチャートを示す図である。

【0095】まず、ユーザによる操作子 21の操作によって自動演奏を開始させる信号が入力されると、ずれ検出の回数を表す変数 A (A は正の整数) がリセットされる (ステップ S71)。続いて、音響信号入力装置 13から出力される音響信号から実施の形態 1に記載されたテンポ検出処理によって検出されたテンポが、現時点のテンポ Tnowとして設定される (ステップ S72)。ここでは、実施の形態 1のテンポ検出処理と同様に、音響信号入力装置 13から出力される音響信号の内、特定周波数帯に属するエンベロープのフィルタリング後、しきい値を越えたピーク値の発生時間間隔に基づいてテンポが検出される。

【0096】次に、テンポが設定された後における最初の小節の開始時間 (タイミング) が算出される (ステップ S73)。その最初の小節のタイミングは、ステップ S72で設定されたテンポ Tnowによって算出される。例えば、テンポ Tnowが 120であれば四分音符長は 0.5 秒であるから、テンポが設定された後の次の最初の小節は 2 秒後に開始されることとなる。

【0097】ステップ S72で検出されたエンベロープに含まれるピーク値、及びその発生時間が抽出され、RAM 12の所定のエリア (図示せず) に記憶される (ステップ S74)。続いて、ステップ S73で算出された最初の小節のタイミング時から、テンポ Tnowにしたがって 1 小節分の時間経過ごとに小節の開始を指示する信号 (以下、タイミング信号) が出力される (ステップ S75)。

【0098】ここで、以下の処理を具体的に図面を参照しながら説明する。図 17は、ステップ S74で抽出されたピーク値、及びステップ S75で出力されたタイミング信号の時系列な関係を示す図である。

【0099】Pz0、Pz1は抽出されたピーク値、tz0はピーク値 Pz0の発生時間、同様に tz1はピーク値 Pz1の発生時間を示す。また、SG0は、ステップ S75で出力されるタイミング信号であり、ts0はタイミング信号 SG0の発生時間を示す。

【0100】また、図 17において、D0は、ピーク P

z 0 の発生時間  $t_{z0}$  とタイミング信号 SG 0 の発生時間  $t_{s0}$  との時間差 ( $t_{s0} - t_{z0}$ ) を示す。また、D 1 は、タイミング信号 SG 0 の発生時間  $t_{s0}$  とピーク P z 1 の発生時間  $t_{z1}$  との時間差 ( $t_{z1} - t_{s0}$ ) を示す。

【0101】B 0 は、タイミング信号 SG 0 に対応する裏拍を示し、 $t_{b0}$  は裏拍 B 0 の発生時間を示す。また、F 0 は、タイミング信号 SG 0 の発生時間  $t_{s0}$  と裏拍 B 0 の発生時間  $t_{b0}$  との時間差 ( $t_{b0} - t_{s0}$ )

(以下、裏拍時間) を示す。ここで裏拍とは、真のテンポに対応させて刻まれるタイミングから所定の時間だけずれたタイミングで刻まれたと仮定された仮想信号である。実際の楽曲では、一般的にテンポを刻む四分音符に対して、八分音符長だけずれたタイミングで裏拍が刻まれる場合がある。本実施の形態においては、裏拍時間 F 0 がステップ S 7 2 で設定されたテンポ T now を用いて次式 (12) で表される。

$$F0 = 0.5 \times (60 / T_{now})$$

【0102】再び図 15 のフローチャートに戻り、検出されたエンベロープに含まれるピーク値に基づく小節の開始のタイミングと、ステップ S 7 5 のタイミング信号との時間のずれが算出される (ステップ S 7 6)。具体的には、図 17 において、外部から入力される音響信号と自動演奏のタイミングとのずれの候補として、時間差 D 0、D 1 が算出される。

【0103】次に、時間差 D 0 と裏拍時間 F 0 との和 ( $D0 + F0$ ) が、時間差 D 1 と裏拍時間 F 0 との差 ( $D1 - F0$ ) よりも小さいかが判定され (ステップ S 7 7)、時間差 D 0、D 1 の内どちらの時間差に基づいてずれを決定すべきかが判定される。ここで、一般的に裏拍はテンポを刻む四分音符から八分音符分だけずれたタイミングで刻まれるので、裏拍の発生時間を基準としてずれを検討するために時間差 D 0、D 1 に裏拍時間 F 0 が含まれている。これにより、検出されたピーク P z 0、P z 1 が裏拍である可能性も考慮されるので、タイミング信号 SG 0 の発生時間とピーク P z 0、P z 1 それぞれの発生時間とのみに基づいて、単にずれを算出する場合よりもずれの検出の信憑性を向上させることができる。

【0104】時間差 D 0 と裏拍時間 F 0 との和 ( $D0 + F0$ ) が、時間差 D 1 と裏拍時間 F 0 との差よりも小さい場合 (ステップ S 7 7 ; Yes)、時間差 D 0 と裏拍時間 F 0 との和 ( $D0 + F0$ ) だけ自動同期演奏のタイミングが音響信号よりも遅れていると判断され、時間差 D 0 と裏拍時間 F 0 との和 ( $D0 + F0$ ) が音響信号と自動同期演奏のタイミングのずれ G 1 として設定される (ステップ S 7 8)。また、時間差 D 0 と裏拍時間 F 0 との和 ( $D0 + F0$ ) が、時間差 D 1 と裏拍時間 F 0 との差 ( $D1 - F0$ ) よりも小さくない場合 (ステップ S 7 7 ; No)、時間差 D 1 と裏拍時間 F 0 との差 (D 1

- F 0) だけ自動同期演奏のタイミングが音響信号よりも進んでいると判断され、時間差 D 1 と裏拍時間 F 0 との差 ( $D1 - F0$ ) が音響信号と自動同期演奏のタイミングのずれ G 1 として設定される (ステップ S 7 9)。

【0105】続いて、ステップ S 7 8、ステップ S 7 9 のいずれかの処理で設定されたずれ G 1 の絶対値が、時間差 D 0 と時間差 D 1 との和のモード値 (最頻値) よりも大きいかが判定される (ステップ S 8 0)。ここで、時間差 D 0 と時間差 D 1 との和 ( $D0 + D1$ )

は、ステップ S 7 2 でフィルタリングされた音響信号に含まれるピーク値の発生時間間隔を示すので、RAM 1 2 に記憶されたピーク値の発生時間間隔の度数分布を表す統計データ (図 14 参照) から時間差 D 0 と時間差 D 1 との和のモード値が求められる。

【0106】ずれ G 1 には、外部から入力される楽音の演奏方法の急激な変化やノイズによるばらつきの影響が含まれているおそれがある。このような影響がずれ G 1 に含まれている場合、ずれ G 1 の絶対値が音響信号中のピーク値の発生時間間隔に対して異常に増大する傾向がある。ここで、時間差 D 0 と時間差 D 1 との和 ( $D0 + D1$ ) のモード値及びずれ G 1 を比較することにより、ノイズによるばらつき等の影響が含まれているずれ G 1 は真のずれとはみなされず、ずれ検出処理の対象から除外される。これにより、ばらつきを含んだイレギュラーなずれ G 1 が除かれるので、ずれの検出の精度を向上させることができるようになる。

【0107】ずれ G 1 の絶対値が、時間差 D 0 と時間差 D 1 との和 ( $D0 + D1$ ) のモード値よりも大きい場合 (ステップ S 8 0 ; Yes)、ずれ G 1 がノイズ等によるばらつきを含んでいると判断され、時間差 D 0 と時間差 D 1 との和のモード値によるずれ G 1 の剰余が、新たなずれの候補であるずれ G 2 として設定される (ステップ S 8 1)。設定されたずれ G 2 が、1 番目に検出されたずれのデータ G z 0 として RAM 1 2 上に記憶される (図 13 参照)。これにより、抽出されたピークの発生時間間隔に対して以上に大きな値を有するデータが除外されて、ずれの検出の精度を向上させることができるようになる。

【0108】ずれ G 1 の絶対値が、時間差 D 0 と時間差 D 1 との和のモード値よりも大きくない場合 (ステップ S 8 0 ; No)、ずれ G 1 がノイズ等によるばらつきを含んでいないと判断され、ずれ G 1 がそのままずれ G 2 として設定される (ステップ S 8 2)。設定されたずれ G 2 が、1 番目に検出されたずれのデータ G z 0 として RAM 1 2 上に記憶される (図 13 参照)。

【0109】次に、ずれ検出の回数を表す変数 A が 6 以上かかが判定される (ステップ S 8 3)。変数 A が 6 以上でなければ (ステップ S 8 3 ; No)、変数 A が 1 だけインクリメントされる (ステップ S 8 4)。その後、変数 A が 6 に達するまでステップ S 7 2 からステッ

10

20

30

40

50

ブS 8 3までの処理が繰り返され、ずれ検出7回分のずれの履歴データがRAM 1 2に連続的に順次記憶されていく。

【0 1 1 0】続いて、変数Aが6以上になった場合(ステップS 8 3 ; Y e s)、最新のずれG z 6 (図1 3参照)が過去の他のずれの履歴データに対して符号が反転しているか否かが判定される(ステップS 8 5)。音響信号入力装置1 3から出力される音響信号にノイズが含まれると、検出されるずれの値に激しい変動が発生して過去のずれの履歴データに対して符号が反転する場合がある。最新のずれG z 6の符号が反転するような激しく変動が生じている場合、ノイズの影響が含まれているおそれが十分あるので、G z 6は真のずれとはみなされず、ずれの対象から除外される。これにより、ばらつきを含んだイレギュラーなずれが除かれるので、ステップS 8 0のときよりも更にずれの検出の精度が向上されるようになる。

【0 1 1 1】最新のずれG z 6が過去のずれの履歴データに対して符号が反転している場合(ステップS 8 5 ; Y e s)、ずれG z 6はノイズの影響を受けているおそれがあるので、RAM 1 2に記憶されたずれの履歴データG z 0からG z 5までの平均値G a vがずれG 2として設定される(ステップS 8 7)。ここで、ずれG z 6を平均値G a vに変更することにより、ノイズによる影響を受けた特異なずれをずれ検出の対象から除外できるので、ずれ検出の精度を更に向上することができる。

【0 1 1 2】また、最新のずれG z 6が過去の他のずれの履歴データに対して符号が反転していない場合(ステップS 8 5 ; N o)、ずれG z 6があらかじめ設定された上限値G l i mよりも大きいかが判定される(ステップS 8 6)。符号が反転していなくてもずれG z 6が異常に増大するおそれもあり、そのような異常なずれG z 6をずれ検出の対象から除外することができるようになる。このステップS 8 6上限値G l i mによる判定とステップS 8 5の処理との組み合わせによって、ずれ検出処理の精度をより向上させることが可能となる。なお、上限値の設定は適宜変更可能である。

【0 1 1 3】ずれG z 6があらかじめ設定された上限値G l i mよりも大きい場合(ステップS 8 6 ; Y e s)、ずれG z 6はノイズの影響を受けているおそれがあるので、RAM 1 2に記憶された他のずれの履歴データG z 0からG z 5までの平均値G a vがずれG 2として設定される(ステップS 8 7)。ずれG z 6があらかじめ設定された上限値G l i mよりも大きくない場合(ステップS 8 6 ; N o)、最新のずれG z 6がそのままずれG 2として設定される(ステップS 8 8)。

【0 1 1 4】ずれG 2が確定された後、時間差D 0と時間差D 1との和のモード値の2倍よりも、ずれG 2が大きいかが判定される(ステップS 8 9)。ここで、本実施の形態においてはしきい条件が2倍と設定されてい

るが、しきい条件は適宜変更可能である。

【0 1 1 5】ここで、外部の楽音の演奏方法が急激に変化されるとずれG 2も急激に変化して時間差D 0と時間差D 1との和のモード値の2倍よりも大きくなる場合がある。このような場合において、操作者に違和感を抱かせないように、自動演奏の演奏タイミングの補正が急激に実行されずに、緩やかに自動演奏の演奏タイミングが補正されるようにする必要がある。

【0 1 1 6】そこで、ずれG 2が時間差D 0と時間差D 1との和のモード値の2倍より大きい場合はステップS 8 9 ; Y e s)、外部の楽音の演奏方法が急激に変化されたと判断されて、真のずれG rとして、ずれG 2の1/2が設定される(ステップS 9 0)。

【0 1 1 7】これにより、時間差D 0と時間差D 1との和のモード値(ピークの発生時間間隔のモード値)に近似した値がずれとして設定され、急激に自動演奏の演奏タイミングが変更されずに緩やかに変更されるようになる。また、時間差D 0と時間差D 1との和のモード値の2倍よりも、ずれG 2が大きい場合は(ステップS 8 9 ; N o)、ずれG 2がそのまま真のずれG rとして設定される(ステップS 9 1)。

【0 1 1 8】真のずれG rが設定された後、決定された真のずれG rだけ自動演奏の演奏タイミングの調整が実行される(ステップS 9 2)。詳細には、音源回路1 8から出力されるクロック信号を出力する時間間隔が真のずれに応じて調整される。

【0 1 1 9】図1 7に示した例では、真のずれG rとして(D 0 + F 0)が設定されている場合、自動演奏の演奏タイミングをずれ(D 0 + F 0)だけ進める調整が実行される。

【0 1 2 0】現時点のクロック信号が出力される時間間隔が真のずれG rよりも大きい場合、クロック信号が出力される時間間隔の内1つの時間間隔のみ真のずれG r分だけ小さくすることによって、自動演奏の演奏タイミングの調整が実行される。

【0 1 2 1】また、現時点のクロック信号が出力される時間間隔が真のずれG r以下の場合、クロック信号が出力される時間間隔よりも小さくなるように真のずれG rが均等に分割される。真のずれG rが分割された数に対応する時間間隔それぞれが、均等割された真のずれG rの値だけ小さくなるように変更される。これにより、全体としてずれG rだけ自動演奏の演奏タイミングが調整することができる。具体的には、真のずれG rがN個の時間間隔に分割されう場合、クロック信号を出力する時間間隔N個それぞれが、時間G r / Nだけ均等に小さく設定される。

【0 1 2 2】外部から入力される楽音に自動演奏のテンポを合わせるだけでなく、本実施の形態におけるずれ検出処理によって自動演奏の演奏タイミングを外部から入力される楽音に確実に同期させることができるようにな

る。これにより、従来に比べて、確実に外部の楽音に同期した自動演奏が可能となる。

【0123】更に、ステップS92で自動演奏の演奏タイミングが調整された後、RAM12に記憶されているずれ履歴データを利用して自動演奏のテンポが補正される（ステップS93）。ステップS92においてクロック信号を出力する時間間隔が調整されてずれが補正されるので、自動演奏のテンポTnowが現実の楽曲のテンポに同期するように再調整される。

【0124】ここで、現時点における自動演奏の1小節の時間は、RAM12に記憶されたずれ履歴の平均Gav、現時点のテンポTnowを用いて、次式（13）で示される。

$$(\text{現時点における自動演奏の1小節の時間}) = (60 / T_{\text{now}}) \times 4 + G_{\text{av}}$$

【0125】また、テンポの補正後の自動演奏の1小節の時間と現時点における自動演奏の1小節の時間とが一致するようにテンポTnewが補正される。補正後のテンポをTnewとすると次式（14）の関係が成り立つ。

$$(60 / T_{\text{now}}) \times 4 + G_{\text{av}} = (60 / T_{\text{new}}) \times 4$$

【0126】上記式（14）より、補正後のテンポTnewは次式（11）で表される。

$$T_{\text{new}} = 240 / (240 / T_{\text{now}} + G_{\text{av}})$$

【0127】次に、このテンポTnewに基づき音源回路18からクロック信号が出力されて、ずれの補正後においても外部の楽曲に確実に自動演奏を同期させることができるようになる。

【0128】自動演奏のテンポを補正する処理の後、RAM12のずれ履歴データ、ピークの発生時間間隔のデータ等ずれ検出処理で使用された各データがクリアされて（ステップS94）、ずれ検出処理が終了する。

【0129】以上説明したように、本実施の形態の電子楽器1においては、外部から入力される楽音の音響信号内の小節が開始されるタイミングと自動演奏の小節が開始されるタイミングとの時間のずれ分だけ自動演奏の演奏タイミングが補正されるようになる。また、本実施の形態におけるずれ検出処理によって、自動演奏のテンポ及び演奏タイミングが確実に外部で奏でられる楽音に同期させることが可能となり、確実に外部の楽音に同期した自動演奏をユーザに提供することができるようになる。

【0130】なお、本発明の自動演奏装置として電子楽器において本発明を実現した場合について述べたが、パーソナルコンピュータなどの汎用コンピュータ等で実現してもよい。

【0131】さらに、本発明を実現するためのプログラムがROMに格納された例について述べたが、本プログラムをCD-ROM、FD、DVD等の記録媒体に格納

し、汎用コンピュータに対して着脱自在な形で提供される形態でもよい。これにより、本発明のプログラムが格納されたソフトウェア商品として装置と独立して容易に配布、販売することができるようになる。また、汎用コンピュータや汎用ゲーム装置などのハードウェアを用いてこのソフトウェアを使用することにより、これらのハードウェアで本発明が容易に実施できるようになる。

【0132】加えて、本発明を実現するためのプログラムやデータは、通信回線などを介して接続された他の機器から受信してメモリに記録する形態であってもよい。さらには、通信回線などを介して接続された他の機器側のメモリに上記プログラムやデータを記録し、このプログラムやデータを通信回線などを介して使用する形態であってもよい。

【0133】

【発明の効果】本発明によれば、外部から入力される音響信号から検出されるピーク値の発生時間間隔ごとに、その発生時間間隔に応じて他のピーク値が発生する確率が検証されてテンポが決定されるので、極めて正確な信頼性の高いテンポを検出できるようになる。

【0134】また、外部から入力される音響信号のピーク値の発生時間間隔と自動演奏における小節の開始を示すタイミング信号とのずれが正確に検出されるので、外部から入力される音響信号の演奏タイミングと自動演奏のタイミングが確実に同期させることができるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態における電子楽器の概略構成を示すブロック図

【図2】同実施の形態における電子楽器によるテンポ検出処理についてのフローチャート

【図3】同実施の形態におけるデータ抽出処理の流れを示すフローチャート

【図4】代表的な楽器の音の高さとレベルとの関係を示す図

【図5】音響入力装置から出力された音響信号、及びその包絡線の一例を示す図

【図6】包絡線、そのピーク値及びピーク値の発生時間、並びにしきい値の関係を示す図

【図7】発生時間間隔がRAMに格納された状態を示す図

【図8】同実施の形態における第1のテンポ候補決定処理の流れのフローチャート

【図9】基本テンポパラメータ、付加テンポパラメータそれぞれの存在確率の算出結果を示す図

【図10】同実施の形態におけるスイープ検索処理の流れのフローチャート

【図11】検索パラメータそれぞれの存在確率の算出結果を示す図

【図12】同実施の形態における再試行処理の流れのフ

## ローチャート

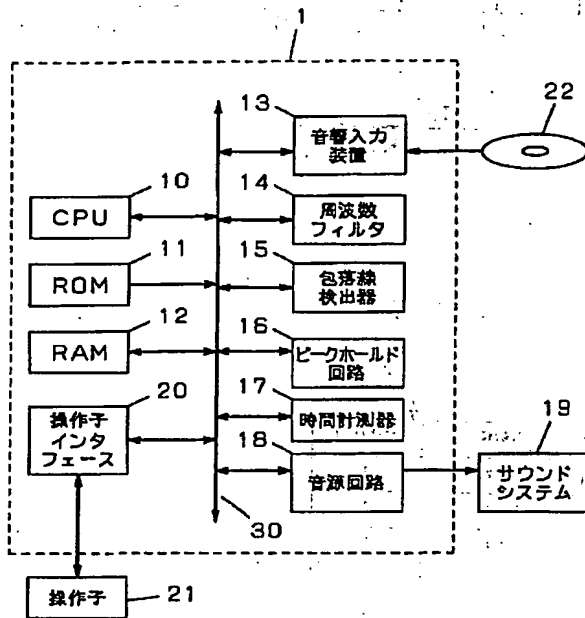
【図13】本発明の実施の形態2におけるずれ検出処理で利用されるずれのデータを示す図

【図14】同実施の形態2におけるピーク値の発生時間間隔の統計データの一例を示す図

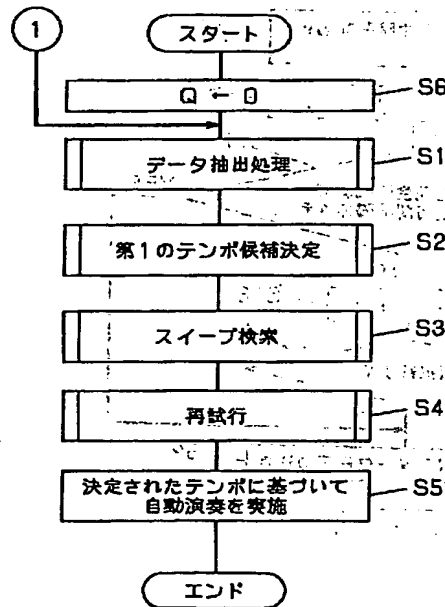
【図15】同実施の形態2におけるずれ検出処理の処理の流れを表すフローチャート

【図16】同実施の形態2におけるずれ検出処理の処理の流れの続きを表すフローチャート

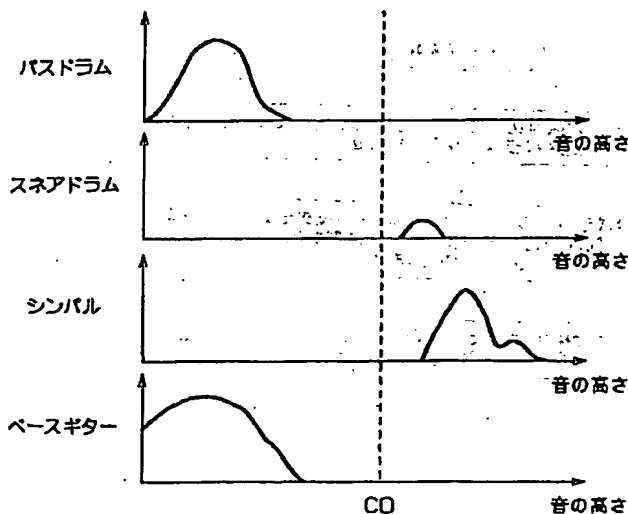
【図1】



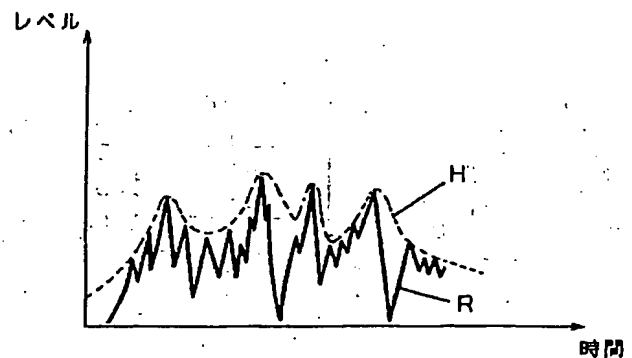
【図2】



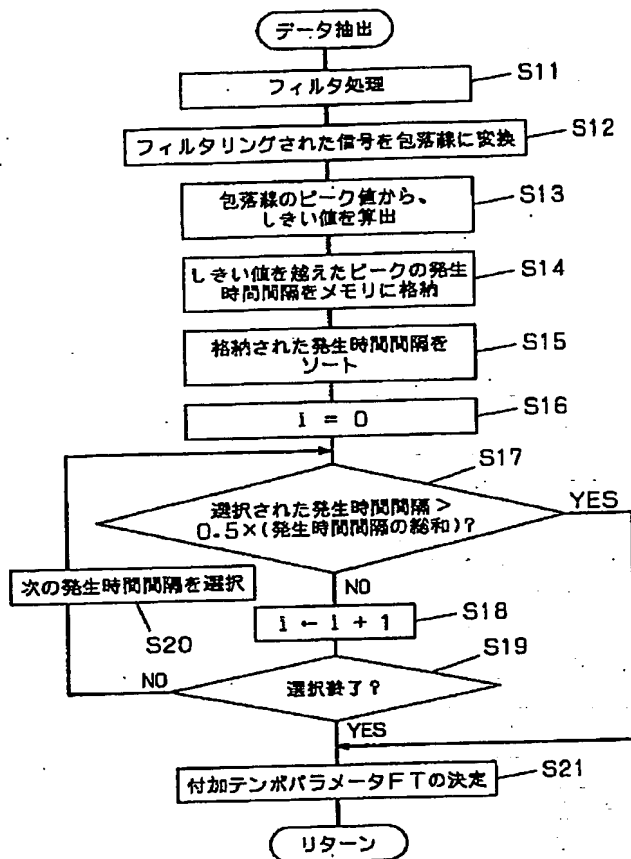
【図4】



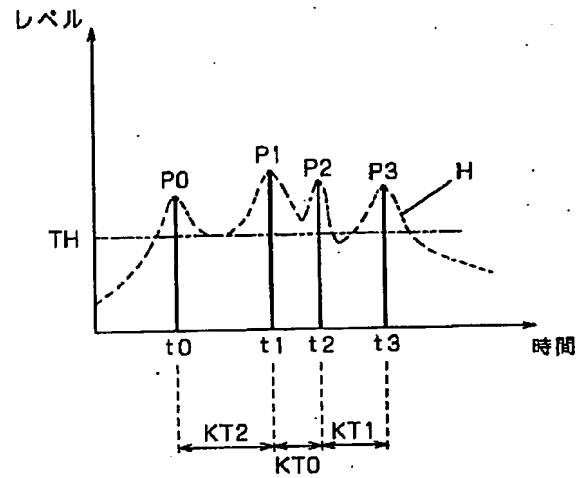
【図5】



【図3】



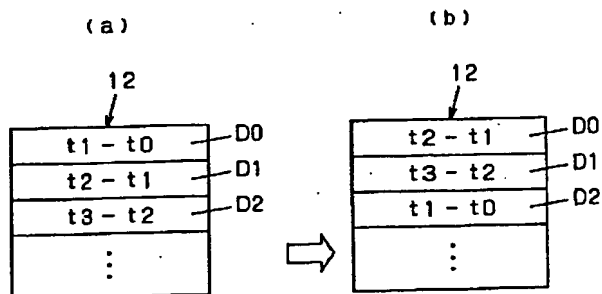
【図6】



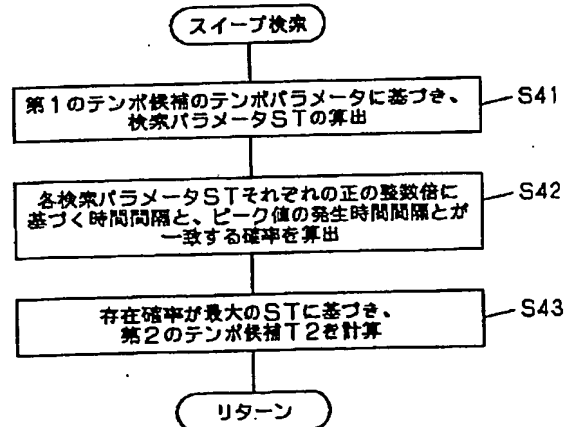
【図14】

階級値	発生回数
$\Delta t_{z1}$	1
$\Delta t_{z2}$	1
$\Delta t_{z3}$	3
...	...
...	...

【図7】

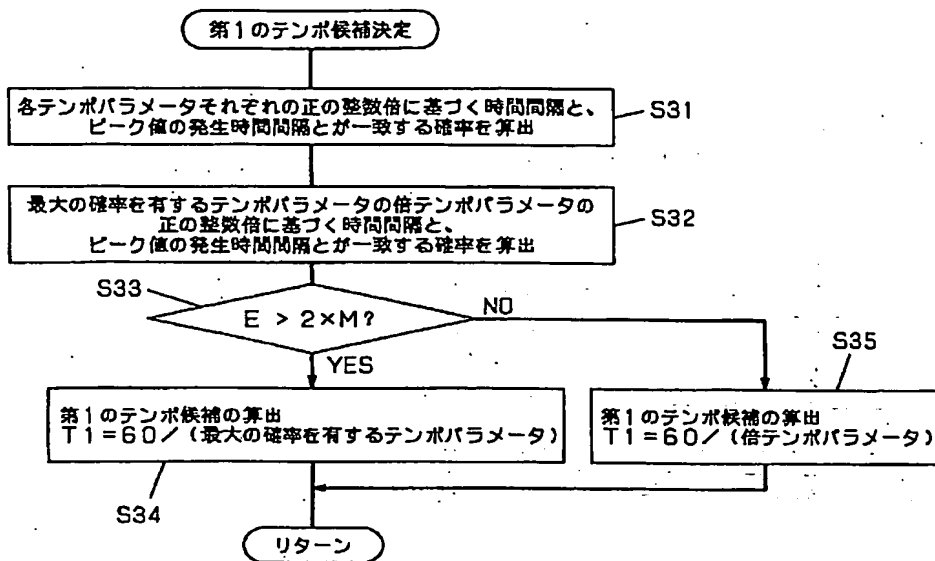


【図10】





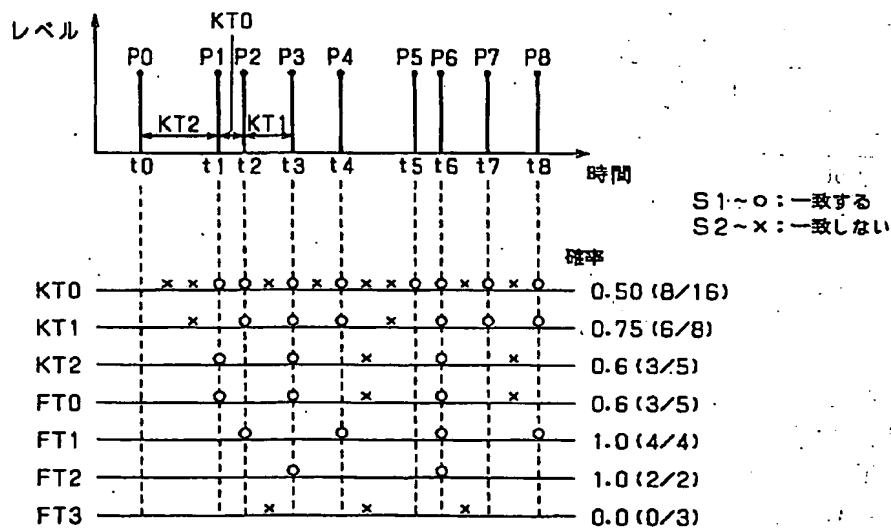
【図8】



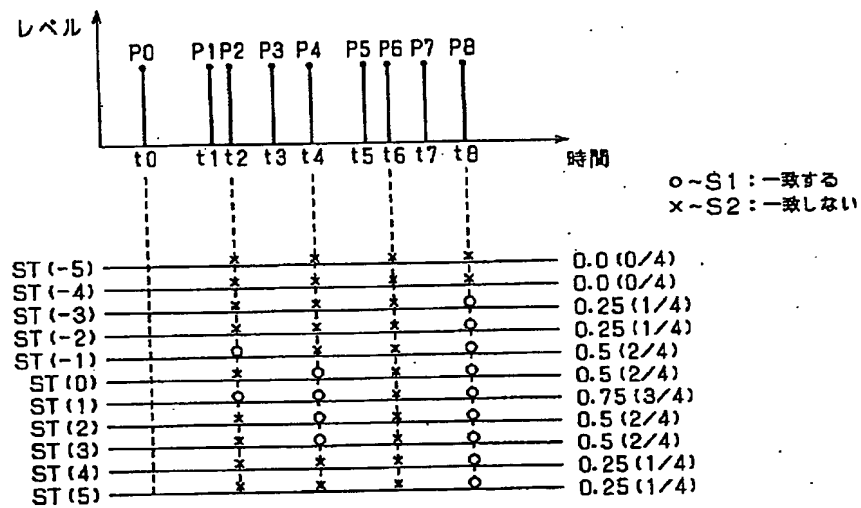
【図13】

101 順番	102 ずれ
1	Gz0
2	Gz1
3	Gz2
4	Gz3
5	Gz4
6	Gz5
7	Gz6

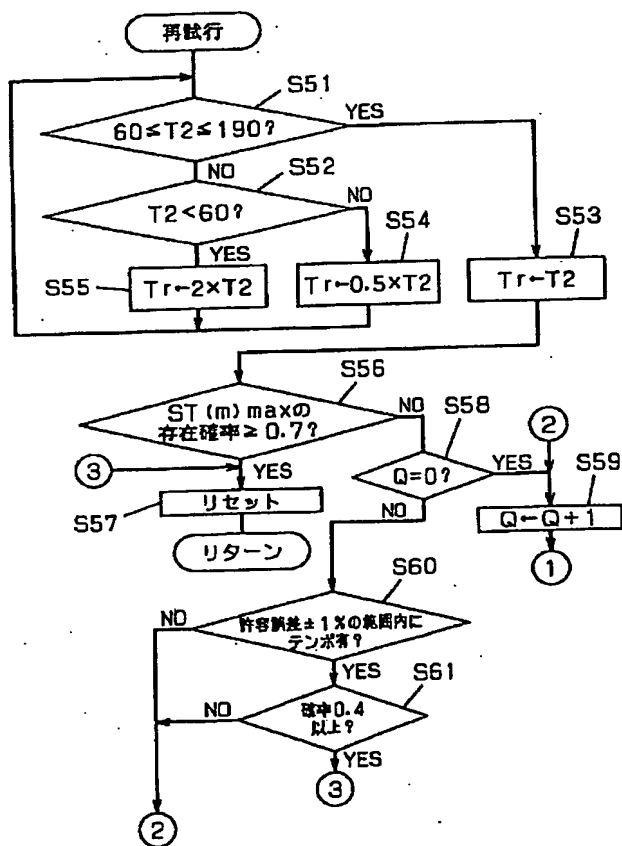
【図9】



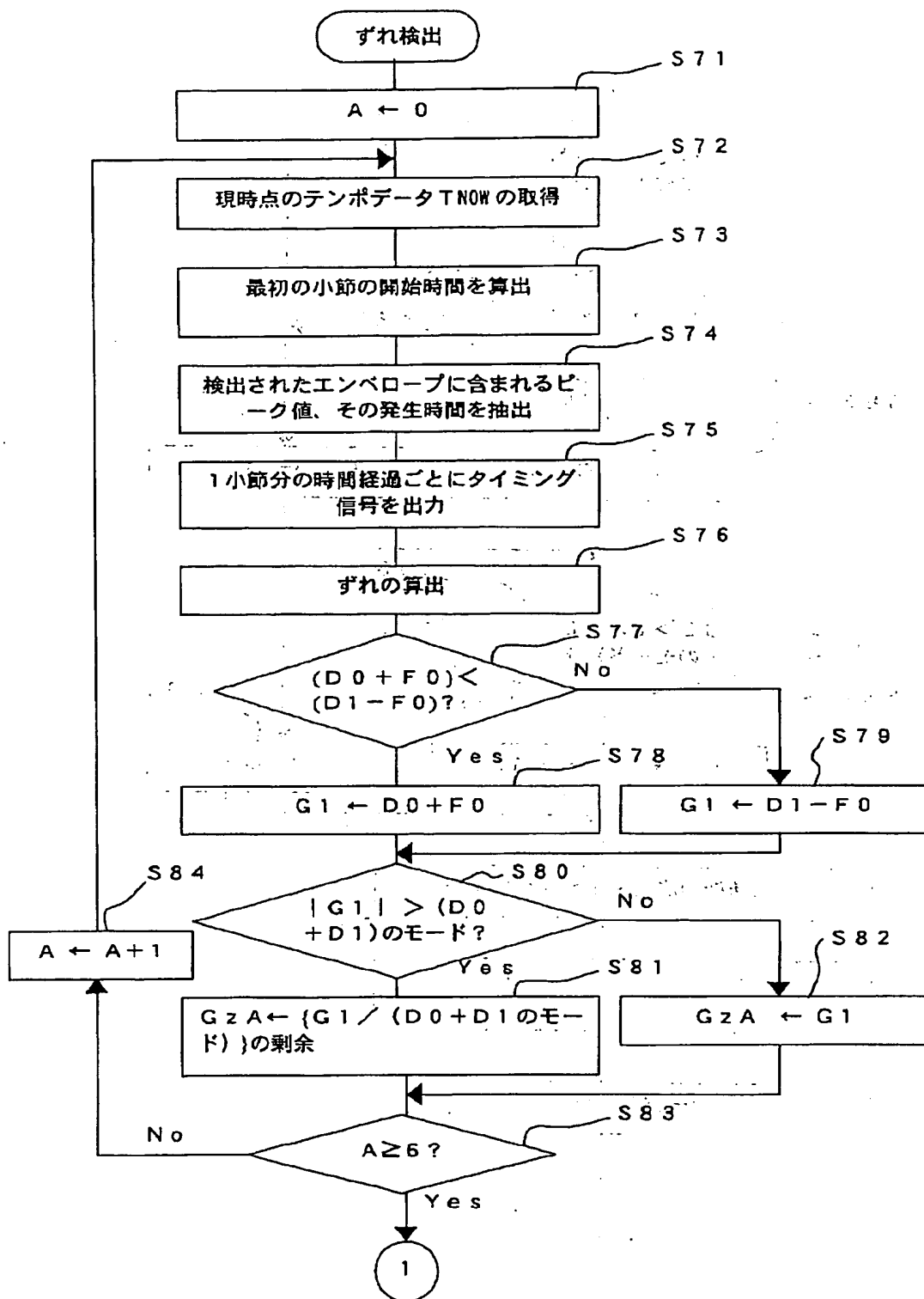
【図11】



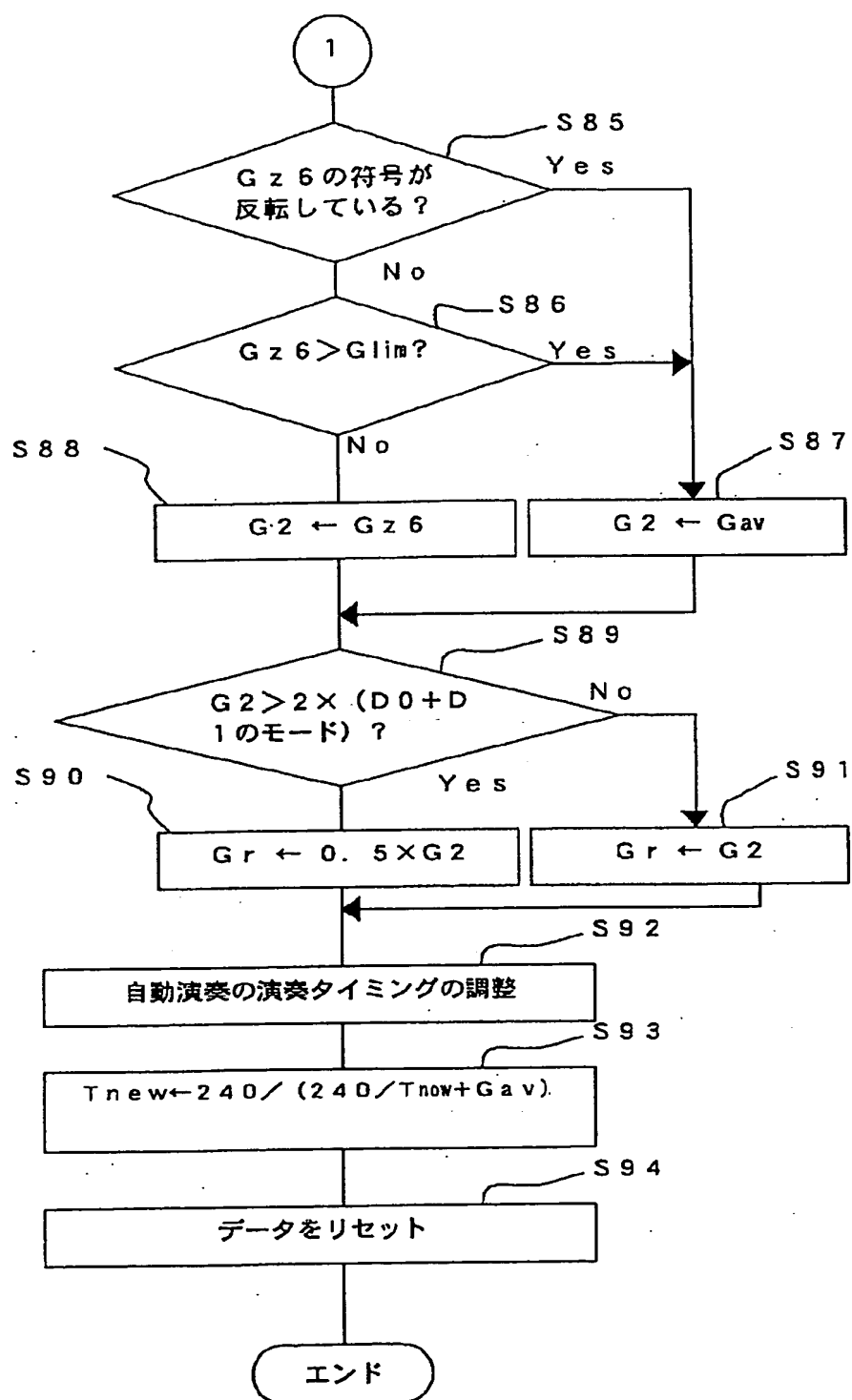
【図12】



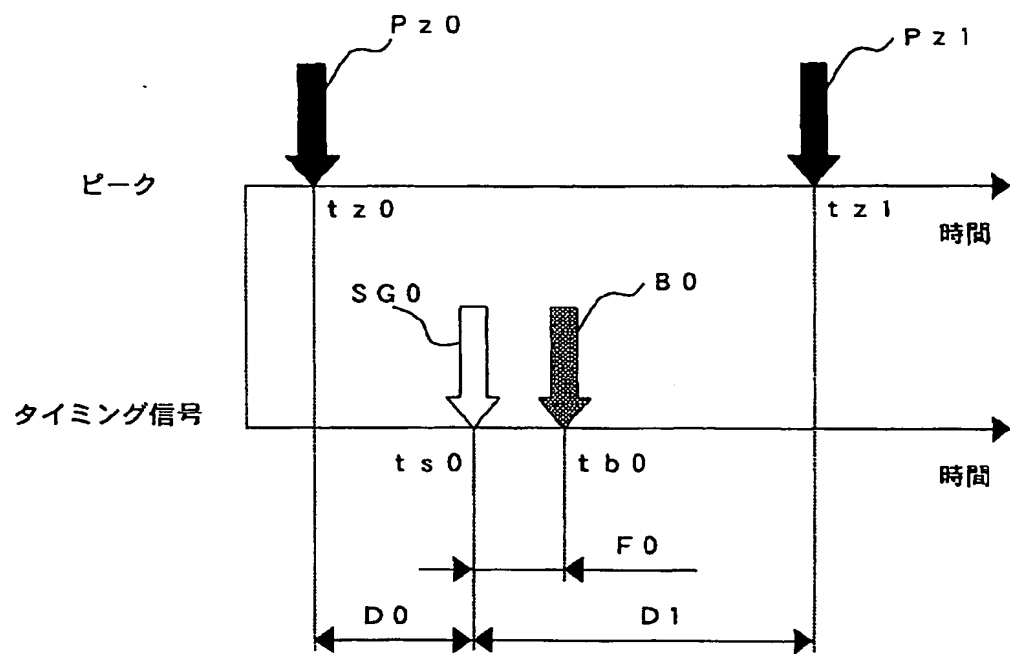
【図15】



【図16】



【図 17】



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**